

демонстрував значний вплив розміру вибірки  $m$  на величину  $k_1$  та  $n$  (збільшення  $k_1$  на 8-16% і  $n$  на 11-23% в залежності від  $m$  в розглянутому прикладі).

4. Подальший напрямок досліджень впливу розмірів вибірок  $m$  формування порогів  $U_{\text{пор}}(m)$  в ПСО пов'язаний з уточненням алгоритмів обробки сигналів в ПСО, що можуть включати в себе фільтри згладжування шуму, пристрої підкреслення перепадів корисних сигналів тощо.

### Література

1. Молебный В. В. Оптико-локационные системы. – М.: Машиностроение, 1981. – 181 с.
2. Астапов Ю. М., Васильев Д. В., Заложнев Ю. И. Теория оптико-электронных следящих систем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 328 с.
3. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов экспериментов. – М., “Наука”. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. – 192 с.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В трех книгах. Книга вторая. Изд-е 2-е, перераб. и дополнен. М., “Сов. радио”, 1975. – 392 с.
5. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. – М., “Наука”. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 720 с.
6. Колобродов В. Г., Пиронер Я. М., Протасов В. Г. Теплопеленгатор на основе PbSe-приемника излучения для системы управления огнем // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-техн. сб. – Киев: НТЦ АСВ. – 2003. – Вып. 7. – С. 31-34.

Колобродов В.Г., Русняк И.Н. **Влияние размера выборки на формирование порогов обнаружения в телевизионных и тепловизионных системах автоматического обнаружения и сопровождения.**

Рассмотрено влияние размера выборки на формирование порогов обнаружения в устройствах сигнальной обработки телевизионных и тепловизионных систем автоматического обнаружения и сопровождения. Получены уравнения для расчета коэффициентов порогов.

Kolobrodov V.G., Rusnyak I.N. **Effect of sample dimension on detecting thresholding forming in TV and IR automatic detecting and tracking systems.**

Effect of sample dimension on detecting thresholding forming for signal processing devices of TV and IR automatic detecting and tracking systems is considered. Equations for calculation of thresholding coefficients were equated.

*Надійшла до редакції  
11 грудня 2004 року*

УДК 621.384.326

## УЗГОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТИВА І ПРИЙМАЧА ВИПРОМІНЮВАННЯ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ І ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ

<sup>1)</sup>Демченко Л.І., <sup>2)</sup>Колобродов В.Г., <sup>1)</sup>Стефанович В.Т., <sup>1)</sup>Трандаш М.М.,  
<sup>1)</sup> НДІ “Квант”, м. Київ, Україна; <sup>2)</sup> Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

*Запропоновано метод ефективного узгодження аберацій об'єктива з розміром чутливої*

площадки приймача випромінювання, який підвищує просторову роздільну здатність тепло-візійних і телевізійних систем спостереження

## **Вступ**

Тепловізійні і телевізійні системи знаходять широке застосування в якості оптико-електронних систем спостереження (ОЕСС) [1]. До складу таких систем входить об'єктив, приймач випромінювання (ПВ), електронний блок обробки сигналів та дисплей [2, 3]. Головною задачею ОЕСС є створення на екрані дисплея зображення з необхідною якістю. Якість зображення визначається, перш за все, просторовою роздільною здатністю ОЕСС, яка залежить від аберацій об'єктива та розмірів чутливої площадки (пікселя) ПВ. Якість зображення в ОЕСС досліджено у значній кількості робіт [4, 5], але в цих роботах не розглядається проблема узгодження параметрів об'єктива і ПВ. Роботу присвячено дослідженню ефективного узгодження аберацій об'єктива з розмірами пікселя з метою покращення якості зображення в ОЕСС.

## **Постановка задачі**

Формування зображення в ОЕСС відбувається наступним чином. Випромінювання (власне або відбите) від об'єкта спостереження і фона проходить через атмосферу і потрапляє в об'єктив. Об'єктив формує зображення об'єкта в площині ПВ, що перетворює світловий потік в електричний сигнал. Після підсилення і необхідної обробки сигнал надходить до дисплею, який формує на екрані видимий аналог об'єкта, що сприймає спостерігач.

Якість зображення, сформованого на екрані дисплея, визначається просторовою роздільною здатністю ОЕСС. Існує декілька визначень просторового розділення [2, 5], але усі вони залежать від модуляційної передаточної (МПФ)  $M_s(v_x, v_y)$  ОЕСС. Наприклад, просторова роздільна здатність  $v_{res}$  може визначатися зменшенням контрасту зображення синусоїдальної міри до певної величини  $C_s$ . Це означає, що роздільна здатність  $v_{res}$  ОЕСС для одномірної МПФ визначається із рівняння

$$M_s(v_{res}) = C_s. \quad (1)$$

При моделювання ОЕСС поняття МПФ може застосовуватися лише для лінійних інваріантних систем. При невеликих контрастах яскравості у межах обмеженого поля зору ОЕСС можна вважати лінійними інваріантними системами [3, 4]. При цьому вважається, що об'єкт і фон випромінюють некогерентно, а кожен елемент узагальненої схеми ОЕСС має свою МПФ. Тоді результуюча МПФ усієї ОЕСС визначається добутком МПФ її окремих елементів: об'єктива, ПВ, електронного блоку та дисплею.

Для одномірного випадку уздовж осі  $x$ , яка співпадає з напрямком сканування, МПФ ОЕСС визначається як [2, 4]

$$M_s(v_x) = M_o(v_x) \cdot M_D(v_x, f) \cdot M_{El}(f) \cdot M_S(v_x), \quad (2)$$

де  $M_o, M_D, M_{El}, M_S$  – МПФ об'єктива, ПВ, електронного блоку, дисплея відповідно.

Таким чином, просторова роздільна здатність  $\nu_{res}$  є розв'язком рівняння (1) з урахуванням співвідношення (2). Для підвищення роздільної здатності, а значить і покращення якості зображення, необхідно узгодити між собою МПФ окремих елементів ОЕСС з метою розширення результуючої МПФ в область високих просторових частот.

### Модуляційна передаточна функція ОЕСС

Досвід проектування ОЕСС свідчить про те, що якість зображення в таких системах визначається, перш за все, МПФ об'єктива і ПВ [4]. Це означає, що у виразі (2) МПФ електронного блоку і дисплея дорівнюють одиниці. Тоді

$$M_s(\nu_x) = M_o(\nu_x) \cdot M_{Ds}(\nu_x) \cdot M_{Dt}(f), \quad (3)$$

де  $M_{Ds}$ ,  $M_{Dt}$  – просторова і часова МПФ ПВ відповідно.

Для апроксимації МПФ сучасних об'єктивів використовують лінійне наближення [2]

$$M_o(\nu_x) = 1 - \left( \frac{1 - M_{o1}}{\nu_{x1}} \right) \nu_x, \quad (4)$$

де  $\nu_{x1}$  – просторова частота, яка відповідає зменшенню МПФ об'єктива до величини  $M_{o1}$ .

Просторова МПФ ПВ  $M_{Ds}(\nu_x)$  визначається розмірами чутливої площадки пікселя  $V_D \times W_D$ . Для одномірного випадку маємо:

$$M_{Ds}(\nu_x) = \frac{\sin(\pi V_D \nu_x)}{\pi V_D \nu_x}. \quad (5)$$

Часова МПФ ПВ  $M_{Dt}(f)$  залежить від інерційності ПВ (постійної часу  $t_D$ ). Якщо час формування одного елемента зображення  $t_0 \gg t_D$ , що справедливо для фотонних ПВ, то  $M_{Dt}(f) \approx 1$ .

Тоді результуюча МПФ ОЕСС визначається функцією

$$M_s(\nu_x) = \left[ 1 - \left( \frac{1 - M_{o1}}{\nu_{x1}} \right) \nu_x \right] \frac{\sin(\pi V_D \nu_x)}{\pi V_D \nu_x}. \quad (6)$$

### Узгодження МПФ об'єктива і ПВ

При узгодженні МПФ об'єктива і ПВ часто застосовується принцип рівнозначності, згідно якого об'єктив і ПВ однаково погіршують якість зображення. З математичної точки зору це означає, що (рис. 1)

$$M_o(\nu_x) = M_{Ds}(\nu_x) = C_0, \quad (7)$$

де  $C_0$  – залишковий контраст.

Якщо підставити значення МПФ об'єктива і ПВ (7) в формулу (6), то отримаємо значення МПФ ОЕСС для визначення роздільної роздільної здатності

$$M_s(v_{res}) = C_0^2 = C_s. \quad (8)$$

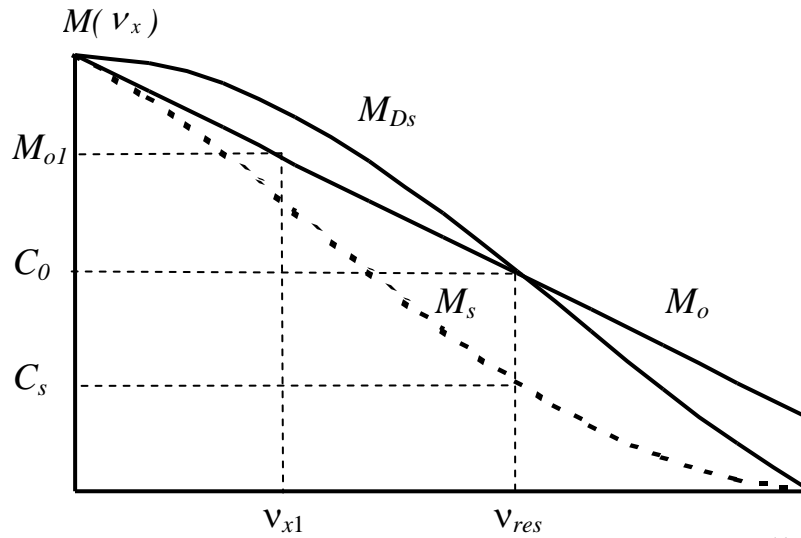


Рисунок 1 – Узгодження МПФ об'єктива  $M_o(v_x)$  з МПФ ПВ  $M_{Ds}(v_x)$

Система рівнянь (7) і (8) означає, що узгодження аберацій об'єктива з розміром пікселя ПВ відбувається при певному значенні контрасту  $C_s$ , який відповідає просторовій роздільній здатності  $v_{res}$ .

Встановимо зв'язок між параметрами об'єктива і ПВ при заданих значеннях просторового розділення  $v_{res}$  і контрасту зображення  $C_s$ . Із системи рівнянь (7) з урахуванням функцій (4) і (5) маємо

$$1 - \left( \frac{1 - M_{ol}}{v_{x1}} \right) v_{res} = C_0 = \sqrt{C_s}; \quad \frac{\sin(\pi V_D v_{res})}{\pi V_D v_{res}} = C_0 = \sqrt{C_s}. \quad (9)$$

Звідки

$$v_{1x} = \frac{1 - M_{ol}}{1 - \sqrt{C_s}} v_{res}; \quad (10)$$

$$V_D = \frac{1}{v_{res}} F(\sqrt{C_s}), \quad (11)$$

де  $F(\ )$  – функція, що обернена до функції  $\sin(\pi x)/\pi x$ .

Отримані формули (10) і (11) дозволяють визначити розмір пікселя ПВ  $V_D$  і роздільну здатність об'єктива  $v_{x1}$  при контрасті зображення  $M_{ol}$ , які забезпечують просторове розділення  $v_{res}$  ОЕСС при контрасті зображення  $C_s$ .

На рис. 2 наведено графік залежності узгодженого розміру пікселя ПВ від контрасту зображення на екрані дисплея.

Розглянемо приклад розрахунку узгоджених параметрів об'єктива і ПВ. На практиці просторову роздільну здатність  $v_{res}$  часто визначають при контрасті  $C_s = 0,5$  [5].

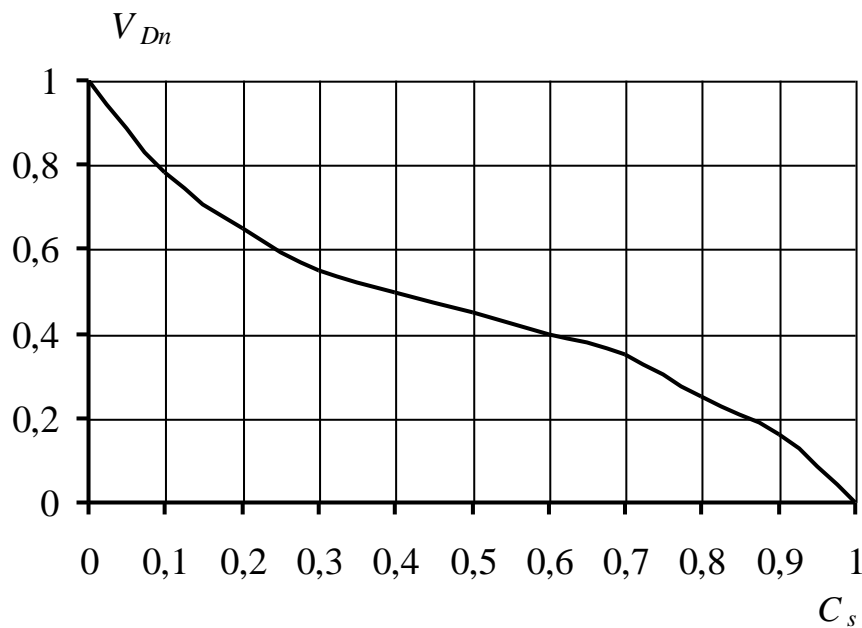


Рисунок 2 – Залежність нормованого розміру пікселя ПВ  $V_{Dn} = V_D v_{res}$  від контрасту зображення  $C_s$  при заданій роздільній здатності  $v_{res}$

Тоді із формули (11) маємо, що  $V_D v_{res} = F(0,5) = 0,444$ , а з формули (10) –

$$v_{lx} = \frac{1 - M_{ol}}{1 - \sqrt{0,5}} \frac{0,444}{V_D} = 1,516(1 - M_{ol}) \frac{1}{V_D}. \quad (12)$$

Якщо  $M_{ol} = 0,5$ , то об'єктив і ПВ будуть узгодженими, коли

$$v_{x1} = \frac{0,758}{V_D}. \quad (13)$$

## Висновки

1. Для покращення якості зображення в ОЕСС необхідно узгодити аберації об'єктива з розміром пікселя ПВ. Здебільшого вважають, що це досягається, коли об'єктив і ПВ однаково погіршують якість зображення.

2. Отримано формули для (10) і (11) для розрахунку роздільної здатності об'єктива і розміру пікселя ПВ, які забезпечують необхідну просторову роздільну здатність ОЕСС при заданому контрасті зображення.

3. Для узгодження МПФ об'єктива і ПВ при контрасті зображенні  $C_s = 0,5$  об'єктив повинен мати роздільну здатність  $v_{x1} = 0,444/V_D$  при контрасті  $M_{ol} = 0,5$ .

4. При подальшому узгодженні параметрів об'єктива і ПВ слід враховувати їх вартість та габарити.

### **Література**

1. Орлов В.А., Петров В.И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости. – М.: Воениздат, 1989. – 212 с.
2. Колобродов В. Г., Шустер Н. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування): Підручник для вузів. – К.: Тираж. – 1999. – 340 с.
3. Грязин Г.Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства: Системы телевидения. – Л.: Машиностроение, 1988. – 224 с.
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 417 с.
5. Колобродов В.Г., Шустер Н. Геометрична шумова смуга пропускання – новий критерій для визначення роздільної здатності оптичних та оптико-електронних приладів // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2003. - №2. – С. 97 – 101.

Демченко Л.И., Колобродов В.Г., Стефанович В.Т., Трандаш М.М. <b>Согласование параметров объектива и приемника излучения в тепловизионных и телевизионных системах.</b> Предложен метод эффективного согласования aberrаций объектива с размером чувствительной площадки приемника излучения, который повышает пространственную разрешающую способность тепловизионных и телевизионных систем наблюдения.	Demchenko L.I., Kolobrodov V.G., Stefanovich V.T., Trandash M.M. <b>Matching the lens' and detector's parameters in thermovision and television systems.</b> The method of effective matching lens aberrations with the detector pixel size is proposed, which increases spatial resolution of observing thermovision and television systems.
--	---

*Надійшла до редакції  
22 вересня 2004 року*

## **НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 681.121

### **АНАЛІЗ ПОХИБОК КОЕФІЦІЄНТА СТИСКУВАНOSTІ ВОЛОГОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

*Крук О.І., РВУ «ЛьВІВАВТОГАЗ» НАК «НАФТОГАЗ УКРАЇНИ», м. Львів, Україна*

*Проаналізовані похибки, що виникають при визначенні коефіцієнту стискуваності вологого природного газу*

#### **Вступ. Постановка проблеми**

Для обліку природного газу у магістральних газопроводах або безпосередньо у мережах середнього чи низького тиску після технологічної установки комплексної підготовки газу (УКПГ), що забезпечує необхідні йому якісні показники, необхідно мати підтвердження про допустимий вміст парів води у газі. Здебільшого природний газ після УКПГ має бути сухим, і вміст парів води не повинен перевищувати допустимих значень, які наведені у таблицях [1-5]